

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-074621
 (43)Date of publication of application : 16.03.1999

(51)Int.Cl.

H01S 3/18
 H01L 33/00

(21)Application number : 09-234881
 (22)Date of filing : 29.08.1997

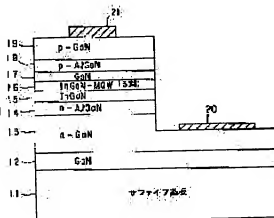
(71)Applicant : TOSHIBA CORP
 (72)Inventor : SUGIURA RISA
 ISHIKAWA MASAYUKI

(54) NITRIDE GROUP SEMICONDUCTOR LUMINOUS ELEMENT

(57)Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve total element characteristics while a threshold value current is reduced and cracking is suppressed.

SOLUTION: Relating to a nitride based semiconductor laser comprising separate confinement hetero structure wherein an MQW (multiplex quantum well structure) active layer 16 of InGaN based semiconductor is sandwiched between a pair of GaN light confinement layers 15 and 17 whose band gap is larger than the active layer 16, which is further sandwiched between a pair of, p-type and n-type, clad layers 14 and 18 of AlGaIn whose band gap larger than the light confinement layers 15 and 17, further comprising GaN contact layers 13 and 19, p-type and n-type, outside of them, such a light confinement layer 15 as on n-side, out of the pair of light confinement layers 15 and 17, is formed of InGaIn whose reflectance factor is larger than the GaN contact layers 13 and 19, for improved light confinement effect and also for preventing occurrence of crack at the active layer 16.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 06.09.2000
 [Date of sending the examiner's decision of rejection] 30.04.2002
 [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
 [Date of final disposal for application]
 [Patent number]
 [Date of registration]
 [Number of appeal against examiner's decision of rejection]
 [Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
 [Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2003 Japan Patent Office



(51) Int.Cl.⁹
H 0 1 S 3/18
H 0 1 L 33/00

識別記号

F I
H 0 1 S 3/18
H 0 1 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平9-234881

(22) 出願日 平成9年(1997) 8月29日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 杉浦 理砂

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 石川 正行

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

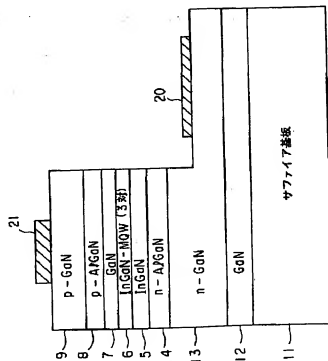
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

(54) 【発明の名称】 窒化物系半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 しきい値電流低減とクラックの抑制とを同時に達成することができ、トータルの素子特性向上をはかる。

【解決手段】 InGa_N系半導体からなるMQW活性層16を活性層16よりもバンドギャップの大きい一対のGa_N光閉じ込め層15、17で挟み、その外側を光閉じ込め層15、17よりもバンドギャップの大きいAlGa_Nからなるp型及びn型の一対のクラッド層14、18で挟んだ分離閉じ込めヘテロ構造を有し、かつその外側にp型及びn型のGa_Nコンタクト層13、19を有する窒化物系半導体レーザであって、一対の光閉じ込め層15、17のうち、n側の光閉じ込め層15をGa_Nコンタクト層13、19よりも屈折率の大きいInGa_Nで形成し、光閉じ込め効果の増大と共に、活性層16におけるクラックの発生を防止する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】基板上に複数の窒化物系半導体層を積層してなり、活性層を一对の光閉じ込め層で挟み、その外側をp型及びn型の一对のクラッド層で挟んだ分離閉じ込めヘテロ構造を有し、かつその外側にp型及びn型のコンタクト層を有する窒化物系半導体発光素子であって、前記一对の光閉じ込め層のうち、n側の光閉じ込め層の屈折率は前記コンタクト層のそれと同じ又はそれよりも大きく、n側の光閉じ込め層の屈折率はp側の光閉じ込め層のそれよりも大きいことを特徴とする窒化物系半導体発光素子。

【請求項2】窒化物系半導体からなる活性層を該活性層よりもバンドギャップの大きい窒化物系半導体からなる一对の光閉じ込め層で挟み、その外側を光閉じ込め層よりもバンドギャップの大きいA1を含む窒化物系半導体からなるp型及びn型の一对のクラッド層で挟んだ分離閉じ込めヘテロ構造を有し、かつその外側にクラッド層よりもバンドギャップの小さい窒化物系半導体からなるp型及びn型のコンタクト層を有する窒化物系半導体発光素子であって、

前記一对の光閉じ込め層のうち、n側の光閉じ込め層は前記コンタクト層よりも屈折率が大きく、p側の光閉じ込め層はn側の光閉じ込め層よりも屈折率が小さく、かつ前記コンタクト層と同じ又はそれよりも屈折率が大きいことを特徴とする窒化物系半導体発光素子。

【請求項3】前記各クラッド層は $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x \leq 1$) で形成され、前記各コンタクト層は GaN で形成され、前記n側の光閉じ込め層は $In_xGa_{1-x}N$ ($0 < x \leq 1$) で形成され、前記p側の光閉じ込め層は $In_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y < x$) で形成されていることを特徴とする請求項1又は2記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項4】基板上に複数の窒化物系半導体層を積層してなり、活性層を該活性層よりもバンドギャップの大きい一对の光閉じ込め層で挟み、さらにその外側を光閉じ込め層よりもバンドギャップの大きいp型及びn型の一对のクラッド層で挟んだ分離閉じ込めヘテロ構造を有する窒化物系半導体発光素子であって、前記活性層が第1の活性層と第2の活性層に分離されており、第1の活性層と第2の活性層の間に、前記光閉じ込め層よりもバンドギャップが小さく、第1及び第2の活性層よりもバンドギャップが大きいクラッド防止層を設けてなることを特徴とする窒化物系半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光情報処理、光通信、光計測などの技術分野で用いられる窒化物系半導体発光素子に係わり、特に分離閉じ込めヘテロ構造 (SCH: separate confinement heterostructure) を有する窒化物系半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、短波長発光素子の需要が高まり、 $ZnSe$ 系及び GaN 系材料を用いた短波長発光素子の研究開発が活発に行われている。 $ZnSe$ 系材料では、発振波長500nm前後の短波長半導体レーザの室温連続発振が達成されているが、結晶欠陥の増殖に起因する素子劣化が問題となり、素子の長寿命化が達成できず、実用化には至っていない。

【0003】一方、 GaN 系材料では近年、青色発光ダイオード (LED) が実用化され、現在 GaN 系青色半導体レーザの研究開発が精力的に行われている。また最近、 GaN 系半導体レーザにおいても室温連続発振が達成されたが、この材料系においては、いまだ物性に關して未知な部分が多く、実用化に際して解決すべき問題も多い。その主なものとして、しきい値電流が高いこと、またクラック (割れ) が発生する問題がある。この材料系では、従来実用化が可能となつた材料系と同様の素子構造では、解決できない問題も多いと思われる。

【0004】 GaN 系青色半導体レーザでは、従来、p型及びn型伝導を有する $AlGaIn$ クラッド層の間に、多重量子井戸構造 (MQW) を有する $InGaIn$ 系活性層を有するSCH構造が多く用いられ、しきい値電流を低減するためにはMQWの井戸層と障壁層のベア数を低減する必要がある。しかし、現実にはMQWのベア数を低減すると、成長層にクラックが発生する問題が生じる。従って、しきい値を低減すること、クラックの発生を抑制することがトレードオフの関係にあり、トータルの素子特性を向上させることが困難である。

【0005】また、従来の素子構造では光の閉じ込めが不十分であることも、しきい値が高い要因であった。光の閉じ込めを十分にするためには、 $AlGaIn$ クラッド層の高A1組成化、膜厚の増加が効果的であるが、これによりクラックの発生が顕著になる問題が生じる。従って、光の閉じ込めを十分に、しきい値を低減するためには、クラッド層の高A1組成化や膜厚増加以外の方法が必要となる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】このように従来、 GaN 系半導体レーザの実用化には、しきい値電流の低減と共に、クラック (割れ) の発生を抑制することが必須であるが、これらはトレードオフの関係にあり、トータルの素子特性を向上させることは困難であった。

【0007】本発明は、上記の事情を考慮して成されたもので、その目的とするところは、しきい値電流低減とクラックの抑制とを同時に達成することができ、トータルの素子特性向上をはかり得る窒化物系半導体発光素子を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】

(構成) 上記課題を解決するために本発明は、次のよう

な構成を採用している。即ち本発明は、基板上に複数の窒化物系半導体層を積層してなり、活性層を一对の光閉じ込め層で挟み、その外側をp型及びn型の一对のクラッド層で挟んだ分離閉じ込めヘテロ構造を有し、かつその外側にp型及びn型のコンタクト層を有する窒化物系半導体発光素子であって、前記一对の光閉じ込め層のうち、p側の光閉じ込め層の屈折率は前記コンタクト層のそれと同じ又はそれよりも大きく、n側の光閉じ込め層の屈折率はp側の光閉じ込め層のそれよりも大きいことを特徴とする。

【0009】また本発明は、窒化物系半導体からなる活性層を該活性層よりもバンドギャップの大きい窒化物系半導体からなる一对の光閉じ込め層で挟み、その外側を光閉じ込め層よりもバンドギャップの大きいAlを含む窒化物系半導体からなるp型及びn型の一对のクラッド層で挟んだ分離閉じ込めヘテロ構造を有し、かつその外側にクラッド層よりもバンドギャップの小さい窒化物系半導体からなるp型及びn型のコンタクト層を有する窒化物系半導体発光素子であって、前記一对の光閉じ込め層のうち、n側の光閉じ込め層は前記コンタクト層よりも屈折率が大きく、p側の光閉じ込め層はn側の光閉じ込め層よりも屈折率が小さく、かつ前記コンタクト層と同じ又はそれよりも屈折率が大きいことを特徴とする。

【0010】ここで、本発明の望ましい実施態様としては次のものがあげられる。

(1) 各クラッド層は $Al_{1-z}Ga_{1-z}N$ ($0 < z \leq 1$) で形成され、各コンタクト層は GaN で形成され、n側の光閉じ込め層は $In_xGa_{1-x}N$ ($0 < x \leq 1$) で形成され、p側の光閉じ込め層は $In_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y < x$) で形成されていること。

【0011】(2) 活性層は、 $InGaN$ 系多重量子井戸構造であること。

(3) p側の光閉じ込め層の膜厚を、n側の光閉じ込め層の膜厚よりも厚くしたこと。

【0012】また本発明は、基板上に複数の窒化物系半導体層を積層してなり、活性層を該活性層よりもバンドギャップの大きい一对の光閉じ込め層で挟み、さらにその外側を光閉じ込め層よりもバンドギャップの大きいp型及びn型の一对のクラッド層で挟んだ分離閉じ込めヘテロ構造を有する窒化物系半導体発光素子であって、前記活性層が第1の活性層と第2の活性層に分離されており、第1の活性層と第2の活性層の間に、前記光閉じ込め層よりもバンドギャップが小さく、第1及び第2の活性層よりもバンドギャップが大きいクラック防止層を設けてなることを特徴とする。ここで、活性層は井戸層と降壁層からなる量子井戸構造を有し、クラック防止層のバンドギャップは活性層の井戸層よりも大きく降壁層よりも小さいのが望ましい。

【0013】(作用) SCH構造を有する窒化物系半導体発光素子においては、しきい値電流を低減するため

に、 $InGaN$ 系MQW活性層の井戸層及び降壁層のベア数を低減することが必須である。また、光の閉じ込めが不十分であるため、しきい値電流を低減できない問題を解決するために、 $AlGaIn$ クラッド層の膜厚又は Al 組成を増加させることが効果的である。しかし、MQWベア数の低減や $AlGaIn$ クラッド層の膜厚又は Al 組成の増加に伴い、クラックの発生が顕著になる。従来は、SCH構造の下部にクラックを防止するための層を挿入している例があり、この方法でもクラック防止の効果は多少あるが、その効果は完全ではなく、実用化には耐え得ないものである。また、この方法では光の閉じ込めが不十分でしきい値を低減できない問題を解決することはできない。

【0014】そこで本発明では、MQWベア数の低減、光閉じ込め効果の増大をクラックの発生を抑制しながら実現し、実用に十分絶え得る低いしきい値の短波長半導体発光素子を提供する。即ち本発明では、光閉じ込め層、特にn側の光閉じ込め層に $InGaN$ を用いることで、MQWベア数を低減しても、クラックの発生を抑制でき、光の閉じ込め効果が大幅に増加する。また、これにより低いしきい値半導体発光素子を実現できる。

【0015】n側、p側のいずれの光閉じ込め層に $InGaN$ を用いても、クラック防止効果、光閉じ込め効果は得られるが、実際には総合的に素子特性を向上させるための素子構造の設計が必要である。即ち、構造上の制約や物性上の制約などを考慮した素子構造の設計が必要である。図3に示した従来の構造を主体にした場合、

(1) p側への電子のオーバフローが顕著であるため、これを抑制できる構造が望ましい。(2) $InGaN$ 系活性層成長後の再昇温過程で活性層の再蒸発を防止できる構造にする必要がある。また、物性を考慮した場合、(3) p型伝導で高いキャリア濃度を有する $InGaN$ を得ることは現状の技術では難しい。(4) $InGaN$ をp側光閉じ込め層に用いるよりも、n側光閉じ込め層に用いた場合の方がクラック防止効果が大きい。

【0016】以上の構造上の制約及び物性上の制約から、n側光閉じ込め層に $InGaN$ を用いることが効果的である。また、このn側 $InGaN$ 光閉じ込め層の In 組成は井戸層の In 組成よりも低くなくてはならない。一例として、井戸層の In 組成が20%の場合、n側 $InGaN$ 光閉じ込め層の In 組成は5~8%程度が望ましい。一方、p側光閉じ込め層には、従来通りp型 GaN を用いても大きな効果は得られるが、より光の閉じ込め効果及びクラック防止効果を増するため、p側光閉じ込め層にも $InGaN$ を用いても良い。但し、前記した(1)(2)(3)の理由により、n側 $InGaN$ 光閉じ込め層の In 組成よりも低くする必要がある。上述の例の場合、 In 組成は2~3%程度が望ましい。また、(1)のp側への電子のオーバフローの問題や光強度分布の非対称性を考慮し、例えばp側には光閉じ込め層を設けな

くても良い。

【0017】一方、 n 側と p 側の光閉じ込め層の I_n 組成(屈折率)が異なるため、活性層内における光の閉じ込めが非対称となり、光の強度分布の中心が活性層の中心からずれる。この光強度分布は、 n 側と p 側の光閉じ込め層の膜厚を変化させることにより制御できる。例えば、 n 側光閉じ込め層に I_n GaNを、 p 側光閉じ込め層にGaNを用いた場合、両者の膜厚が同じであれば、光の強度分布の中心は n 側にずれる。しかし、 p 側光閉じ込め層の膜厚を n 側光閉じ込め層よりも大きくすることで、このずれを中心位置に戻すことができる。

【0018】また、クラック防止層を n 及び p 側の光閉じ込め層の中心部に設けることも可能であり、その場合、クラック防止層の上部と下部、つまり n 側と p 側に活性層を有する構造となる。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、本発明の詳細を図示の実施形態によって説明する。

(実施形態1)図1に本発明の第1の実施形態に係わる窒化物系半導体レーザの素子構造断面を示し、図2に図1の素子構造におけるSCH構造のバンド図を示す。また、参考のため、従来のSCH構造を有する窒化物系半導体レーザの概略構造図を図3に示し、その素子構造におけるバンド図を図4に示す。

【0020】まず、本実施形態によるSCH構造を有する窒化物系半導体レーザについて、図1を用いて説明する。本実施形態レーザは、サファイア基板11上に、バッファ層(図示せず)を介して、アンドープGaN下地層12、 n 型GaNコンタクト層13、厚さ $0.33\mu\text{m}$ の n 型 $\text{Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ クラッド層14が順次形成されている。活性層の光を十分に閉じ込め、低い値の半導体レーザを作成するためには、 AlGaIn クラッド層14の Al 組成を十分に高くするか、又は膜厚を十分に必要がある。しかし、 AlGaIn クラッド層14の Al 組成を高くする、又は膜厚を厚くすることにより、レーザ用多層膜にクラック(割れ)が発生する問題が生じる。このクラックは、 Al 組成が高いほど、また膜厚が厚いほど顕著になる。

【0021】本実施形態では、この問題を解決するために、 n 型 AlGaIn クラッド層14の上に、 n 側光閉じ込めとクラック防止の両方の効果を兼ね備えた、厚さ $0.2\mu\text{m}$ の $\text{In}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ から成るクラック防止兼光閉じ込め層15を形成している。クラック防止兼光閉じ込め層15の上部には、厚さ $0.05\mu\text{m}$ の $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 井戸層と厚さ 4nm の $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層の3対から成る多重量子井戸構造(MQW)を有する InGaIn 系活性層16が形成され、その上部には、厚さ $0.25\mu\text{m}$ の p 側 GaIn 光閉じ込め層17、 p 型 $\text{Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ クラッド層18、 p 型GaNコンタクト層19が上記の順に形成されている。

【0022】また、上記多層構造の一部は n 型GaNコンタクト層13までドライエッチング法により除去され、露出したコンタクト層13上に Ti/Al から成る n 側電極20が形成されている。そして、 p 型GaNコンタクト層19上には p 側電極21が形成されている。

【0023】次に、本実施形態レーザの製造方法について説明する。このレーザは、周知の有機金属気相成長(MOCVD)法により作成した。有機金属原料として、トリメチルガリウム(TMG)、トリメチルアルミニウム(TMA)、トリメチルインジウム(TMI)、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp_2Mg)を用いた。また、ガス原料として、アンモニア(NH_3)、シラン(SiH_4)を用いた。さらに、キャリアガスとして水素及び窒素を用いた。

【0024】まず、有機洗浄、酸洗浄によって処理したサファイア基板11をMOCVD装置の反応室内に導入し、高周波によって加熱されるサセプト上に設置した。次いで、常圧で水素を $25\text{L}/\text{分}$ の流量で流しながら、温度 1200°C で約10分間、気相エッチングを施し表面にできた自然酸化膜を除去した。

【0025】次いで、サファイア基板11上に 550°C 程度の低温においてバッファ層を成長した後、基板温度を 1100°C にし、キャリアガスとして水素 $20.5\text{L}/\text{分}$ を流し、アンモニアを $9.5\text{L}/\text{分}$ 、TMGを $100\text{cc}/\text{分}$ で60分間供給することにより、アンドープGaN下地層12($2.0\mu\text{m}$)を形成した。続いて SiH_4 を 10cc に加え、連続して n 型GaNコンタクト層13($4.0\mu\text{m}$)を形成した。続いて、TMAを $60\text{cc}/\text{分}$ を加えることにより、 n 型 $\text{Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ クラッド層(0.33 μm)を形成した。

【0026】次いで、サファイア基板11を 760°C まで降温し、キャリアガスを水素から窒素 $20.5\text{L}/\text{分}$ に切り替え、アンモニアを $9.5\text{L}/\text{分}$ 、TMGを $100\text{cc}/\text{分}$ 、TMIを $150\text{cc}/\text{分}$ で約8分間流すことにより、厚さ $0.2\mu\text{m}$ のクラック防止兼光閉じ込め層15を成長した。次いで、TMIの供給量を 450cc 、 50cc と交互に切り替えることにより、厚さ 2nm の $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 井戸層、厚さ 4nm の $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層から成る多重量子井戸構造(MQW)を有する InGaIn 系活性層16を形成した。

【0027】次いで、サファイア基板11を 1080°C に昇温し、窒素キャリアガス $20.5\text{L}/\text{分}$ 、アンモニア $9.5\text{L}/\text{分}$ 、TMG $100\text{cc}/\text{分}$ 、及び p 型ドーパント原料として Cp_2Mg を 50cc を加えることにより、厚さ $0.25\mu\text{m}$ の p 側光閉じ込め層17を3分間成長し、その後TMA $60\text{cc}/\text{分}$ を供給し、 Cp_2Mg を 100cc に増加することにより、 p 型 $\text{Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ クラッド層18(0.33 μm)を形成する。続いて、TMAの供給を停止し、 Cp_2Mg の供給量は 50cc として p 型GaNコンタクト層19を形成

した。

【0028】p型Ga_{0.5}In_{0.5}Nコンタクト層19を形成した後、有機金属原料の供給を停止し、窒素キャリアガス20.5L/分、及びアンモニア9.5L/分の引きを続け供給し、基板温度を自然降溫した。但し、アンモニアの供給は基板温度が350℃に達した際に停止した。

【0029】以上の方で作成されたウェハをMOCVD装置から取り出したところ、平坦性に優れ、クラックの無い、良質な窒化物系半導体レーザ用多層膜が得られていることが確認できた。

【0030】次に、上記の方法で作成されたレーザ用多層膜をn側電極を形成するためにドライエッチングによりエッチングを行い、n側コンタクト層13を露出させ、その上部にTi/A1から成るn側電極20を形成した。また、p型Ga_{0.5}In_{0.5}Nコンタクト層19上にはp側電極21を形成した。

【0031】このようにして作成した図1の素子構造におけるSCH構造のバンド図を、図2に示す。この図に示すように、本実施形態によるレーザ用多層膜では、しきい値電流低減のため、MQWのペア数が3対と少なく、またこのMQWペア数低減により問題となるクラック発生の問題を解決するため、MQW活性層16の下部に、MQW活性層16中の井戸層と障壁層の間のバンドギャップを有するInGa_{0.5}Nクラック防止兼光閉じ込め層15が設けられている。

【0032】このn側のクラック防止兼光閉じ込め層15は、MQW活性層16の上部(p側)の光閉じ込め層17よりも屈折率が大きい(In組成が小さい)ため、光の閉じ込め効果も大きい。但し、n側のクラック防止兼光閉じ込め層15がp側の光閉じ込め層17と同じ膜厚であると、活性層15に対して光の閉じ込めがn側に偏ることになる。そこで、n側のクラック防止兼光閉じ込め層15の膜厚をp側の光閉じ込め層17よりも薄くすることにより、これを防止している。

【0033】このように本実施形態では、クラック防止兼光閉じ込め層15を設けることにより、クラックを抑制し、光の閉じ込め効果が大きく、かつMQWのペア数の低減を可能にしたレーザ素子を実現することができ、しきい値電流密度が大幅に低減できる。

【0034】次に、n側電極20及びp側電極21を形成した上記半導体素子のI-V特性を測定したところ、良好なオーミック接触が得られた。次に、上述の電極を有する半導体多層膜を形成したウェハを350μm×500μmの大きさに剪断することにより共振器ミラーを形成し、半導体レーザを作成した。この半導体レーザに電流注入したところ、波長417nmで室温連続発振した。素子の動作電圧は5.0V、しきい電流密度は1.2kA/cm²であった。また、素子寿命は従来の100倍以上に延び、素子の信頼性が大幅に向上した。

【0035】一方、本発明による効果を検証するため、

図3に示す従来のSCH構造を有するレーザ素子も作成し、素子特性を調べ、本実施形態による素子と比較した。図3に示す従来型のSCH構造を有するレーザ素子において、SCH構造部以外の素子部、またはその成長方法、及び素子の作成方法は、図1に示す実施形態によるレーザ素子と同様である。

【0036】図3における31~41は図1の11~21に対応している。基本的な構成は図1と同様であるが、この参考例では、光閉じ込め層35、37が共にGa_{0.5}In_{0.5}Nで形成されている。また、MQW活性層36における井戸層と障壁層のペア数は、3対のものとして10対のもの2種類を作成した。

【0037】サファイア基板31上にGa_{0.5}In_{0.5}N地下層32からp型Ga_{0.5}In_{0.5}Nコンタクト層39までのレーザ用多層膜をMOCVD装置を用いて作成した後、反応炉から取り出したところ、3対のMQW構造を有するレーザ用多層膜の成長層表面にはクラックが非常に多く発生した。一方、10対のMQW構造を有するレーザ用多層膜の成長層表面ではウェハの一部にクラックが発生したが、3対の場合に比べると、その密度は小さいことが明らかである。

【0038】次に、上記の2つの試料について、多層構造の一部をn側Ga_{0.5}In_{0.5}Nコンタクト層33までドライエッチング法により除去し、その上部にTi/A1から成るn側電極40を形成した。また、p型Ga_{0.5}In_{0.5}Nコンタクト層39上にはp側電極41を形成した。

【0039】このようにして作成した従来型のGa_{0.5}In_{0.5}N系青色半導体レーザにおけるSCH構造のバンド図を、図4に示す。上記半導体素子のI-V特性を測定したところ、良好なオーミック接触が得られた。

【0040】次に、上述の電極を有する半導体多層膜を形成したウェハを350μm×500μmの大きさに剪断することにより共振器ミラーを形成し、半導体レーザを作成した。この半導体レーザに電流注入したところ、以下の結果を得た。10対のMQW活性層を有する素子は、波長417nmで室温連続発振し、発振時の動作電圧は約5Vであった。しかし、しきい電流密度は15kA/cm²と高く、素子寿命30分弱と短い。また、ウェハ面内における素子特性のばらつきは小さい。

【0041】一方、3対のMQW活性層を有する素子では、クラックが多く発生し、素子作成プロセス中に1素子内にもクラックによる切断部が多く存在するため、通電不可能な素子も多く存在し、歩留まりが非常に低い。但し、ウェハ面内の約10%の素子では、波長417nmで室温連続発振し、発振時の動作電圧は約5Vであった。しきい電流密度は、10対のMQW活性層を有する素子に比べ低く、7kA/cm²であった。また、発振した素子の寿命は30秒から長いものでは30時間程度であった。

【0042】以上のように、従来のGa_{0.5}In_{0.5}N系半導体レー

ずでは、しきい値電流低減のためにInGaN系MQW活性層のペア数を低減すると、クラックが多発する問題が生じ、素子の歩留まりや特性が大幅に損なわれる問題があった。また、従来構造では光の閉じ込めが不十分であったため、しきい値の低減が困難であった。これに対し本実施形態では、InGaN系MQW活性層のペア数の低減が可能になり、かつn側光閉じ込め層に従来のGaNよりも屈折率の高いGaNを用いたことにより、光の閉じ込め効果が高まり、しきい値電流を大幅に低減させることができた。またその結果、素子の信頼性、歩留まりが大幅に向上した。

【0043】また、予想以上の効果として、n側光閉じ込め層として従来のGaNを用いた場合に比べ、本実施形態によるInGaNを用いた場合の方が成長層表面の平坦性が向上した。原子間力顕微鏡（AFM）により測定した成長層表面の凹凸は、従来構造で約100nm、本実施形態による成長層では約20nmであった。この平坦性の向上により、電極形成などの素子プロセスにおける歩留まりや信頼性が向上した。また、この成長層表面の平坦性向上は、当然のことながら活性層におけるMQW構造の秩序性を向上させ、従来構造における光の散乱等の悪影響を低減し、またキャリアの注入、再結合など電気的な特性に対する悪影響等も除外できる。

【0044】このように本実施形態によれば、GaN系短波長レーザにおいて困難であったしきい値電流の低減が可能になる。この材料系のレーザでは、一般的にMQW構造を有するInGaN系活性層が用いられているが、しきい値電流低減のため、MQWのペア数を低減すると、クラックが多発し、MQWのペア数低減によるしきい値低減とクラックの発生（クラック密度）がトレードオフの関係にあった。即ち、クラックの発生を抑制した構造ではしきい値電流が高く、またしきい値電流を低くした構造ではクラックが多発し、素子の歩留まり、信頼性が著しく低下する問題があった。本実施形態は、上記の問題を解決し、クラックの発生を抑制すると同時に、MQWのペア数を低減することができ、その結果、しきい値電流を大幅に低減できる。これにより、素子の歩留まり、初期特性、信頼性が大幅に向上する。

【0045】（実施形態2）図5は、本発明の第2の実施形態に係わる半導体レーザを示す素子構造断面図である。なお、図1と同一部分には同一符号を付して、その詳しい説明は省略する。

【0046】本実施形態では、第1の実施形態と同様の半導体レーザの素子構造において、MQW型InGaN系活性層16の代わりに、単一量子井構造（SQW）型InGaN系活性層26を用い、p側光閉じ込め層27に第1の実施形態におけるGaNの代わりにInGaNを用いたものである。活性層26とp側光閉じ込め層27以外は、第1の実施形態と同じ構造とした。

【0047】本実施形態では、活性層26をSQWとし

ているため、第1の実施形態の場合に比べ、よりクラックが生じ易く、光の閉じ込めが厳しい構造である。従って、本実施形態では、p側光閉じ込め層27にもn側光閉じ込め層と同様にInGaNを用いることにより、クラック防止効果及び光閉じ込め効果を増加させる必要がある。しかし、（課題を解決するための手段）の項でも説明した理由により、p側InGaN光閉じ込め層27のIn組成は余り高いと素子特性が悪化する。本実施形態では、p側光閉じ込め層27に厚さ0.2μmのIn_{0.03}Ga_{0.97}Nを用いた。

【0048】第1の実施形態と同様の成長条件で作成したレーザ用多層膜の表面平坦性は極めて良好で、AFMによる測定で凹凸は約10nmであることが分った。次に、上記のレーザ用多層膜に第1の実施形態と同様のプロセスを施し、n側電極20及びp側電極21を形成した後に、I-V特性を測定したところ良好なオーミック接触が得られた。

【0049】次に、上記の電極を形成したウェハを350μm×500μmの大きさにへき開することにより共振器ミラーを形成し、半導体レーザを作成した。この半導体レーザに電流注入したところ、波長417nmで室温連続発振した。素子の動作電圧は4.8V、しきい値電流密度は1kA/cm²であった。また、素子寿命も従来の1000倍以上に延び、素子の信頼性が大幅に向上した。

【0050】SQW構造のInGaN系活性層を用いた場合、従来型の構造ではクラックが多発し、素子の作成が困難であったが、本実施形態で作成したレーザ素子では、n側及びp側にInGaN光閉じ込め層を設けたことで、クラックの発生を抑制すると同時に、光の閉じ込め効果も増大し、しきい値電流を大幅に低減させることが可能となり、素子の歩留まり及び信頼性が顕著に向上した。

【0051】（第3の実施形態）本実施形態では、活性層におけるキャリアのオーバフローを防止するための工夫を加えた素子構造で、かつMQWの井戸数を低減し、光の閉じ込め効果を高め、クラックの発生を抑制できる窒化物系低しきい値半導体レーザを提供するための例を示す。

【0052】窒化物系半導体レーザでは、活性層における電子のオーバフローが問題となる。電子と正孔の再結合確率をより高めるために、電子のオーバフローを抑制する必要がある。本実施形態では、電子のオーバフローを抑制するため、InGaN系MQW活性層上に高Al組成のGaAlN層（Al組成を20%、膜厚を5nm）を設け、p側光閉じ込め層は設けない構造とする。

【0053】図6に本実施形態による窒化物系半導体レーザの素子構造断面を示し、以下に層構造を簡単に説明する。成長はMOCVD法により行なった。サファイア基板81上に、GaNバッファ層82a、アンドーGa

N下地層82、n型Ga_{0.84}Al_{0.16}N電流注入層(0.3μm)91、アンドープIn_{0.05}Ga_{0.95}N光閉じ込め層(0.3μm)92、アンドープInGa_{0.95}N系MQW活性層(4対)93を順次形成し、その上にキャリアオーバフロー防止層としてGa_{0.8}Al_{0.2}N層(5nm)94を形成する。その上に、p型Ga_{0.93}Al_{0.07}N電流注入層(0.4μm)95、p型Ga_{0.93}Al_{0.07}N電流注入層85、n型Ga_{0.93}Al_{0.07}N電流狭窄層86を順次形成する。

【0054】次いで、n型Ga_{0.93}Al_{0.07}N電流狭窄層86を部分的にパターニングし、エッチング等によりp型Ga_{0.93}Al_{0.07}N電流注入層85を最表面に露出させる。その後、p型Ga_{0.93}Al_{0.07}N電流注入層85及びn型Ga_{0.93}Al_{0.07}N電流狭窄層86上には、再びMOCVD法により、p型Ga_{0.93}Al_{0.07}Nコンタクト層87を形成する。

【0055】次いで、SiO₂等によるマスキングにより、p型Ga_{0.93}Al_{0.07}Nコンタクト層83まで部分的にエッチングし、露出したコンタクト層83上に側電極96を形成し、さらにp型Ga_{0.93}Al_{0.07}Nコンタクト層87上に側電極97を形成する。

【0056】このようにして作成した半導体レーザは、発振波長410nmにて、910A/cm²の低いしきい値で発振した。本実施形態のように、n側光閉じ込め層にInGa_{0.95}Nを用いることにより、クラック発生を抑制することができ、同時に光の閉じ込め効果が向上する。また、窒化物系半導体レーザで問題となる電子のp側へのオーバフローは、MQW直上へ高Al化するGaAlN層を挿入することで抑制でき、このため本実施形態のような構造の場合、必ずしもp側の光閉じ込め層を設ける必要はない。但し、構造上、クラック発生抑制効果又は光閉じ込め効果が不十分な場合には、図6において、InGa_{0.95}N系MQW活性層93上にGaAlNキャリアオーバフロー防止層(5nm)94を形成し、さらにその上部にp側光閉じ込め層を設け、その上に本実施形態と同様のp型Ga_{0.93}Al_{0.07}N電流注入層95を形成するような構造にしても良い。

【0057】(実施形態4)図7は、本発明の第4の実施形態に係わる半導体レーザを示す素子構造断面図である。

【0058】本実施形態では、サファイア基板51上にバッファ層52を介してn型Ga_{0.93}Al_{0.07}Nコンタクト層53を形成し、このコンタクト層53上にn型AlGa_{0.93}Nクラッド層(Al組成:0.32)54、Ga_{0.93}N光閉じ込め層55、第1の多重量子井戸構造(MQW)のInGa_{0.93}N系活性層56を順次形成する。ここで、活性層56は、In組成20%のInGa_{0.93}N井戸層とGa_{0.93}N障壁層とを組み合わせた2対のMQW構造とした。

【0059】第1のMQW活性層56上に、厚さ40nmのInGa_{0.93}N系クラッド層57(In組成:7%)57を形成した。また、その上部に第1のMQW構造を有

する活性層56と同様の構造を有する第2のMQW構造のInGa_{0.93}N系活性層58を形成した。また、さらにその上部にp型Ga_{0.93}N光閉じ込め層59、p型AlGa_{0.93}Nクラッド層(Al組成:0.32)60を順次形成し、n型AlGa_{0.93}Nクラッド層54からp型AlGa_{0.93}Nクラッド層60までの層を図7に示すようにメサストライプ状に形成した。

【0060】メサストライプの側面には、i型Ga_{0.93}N層61を埋め込み、p型AlGa_{0.93}Nクラッド層60及びi型Ga_{0.93}N層61上には、埋め込みメサ構造のダブルヘテロ構造を形成し、さらにその上にp側電極とのコンタクト層を形成した。埋め込みには、高抵抗のGa_{0.93}N層を用いた。

【0061】本実施形態の半導体レーザは、第1の実施形態と同様にMOCVD法により作成した。このようにして作成したレーザ用ウェハにはクラックは存在せず、良好な結晶が得られた。

【0062】上述のように作成したレーザ用多層膜の活性層付近のバンド図を図8に示す。第1の活性層56と第2の活性層58の間に挿入されたクラッド防止層57のバンドギャップは、光閉じ込め層55、59のそれよりも小さく、第1及び第2の活性層56、58のそれよりも大きいものとなっている。より具体的には、クラッド防止層57のバンドギャップは、活性層56、58を構成するMQWの井戸層のそれよりは大きく、障壁層のそれよりは小さいものとなっている。なお、2つの活性層56、58のうち一方だけをMQW構成とし、他方を通常のアンドープ活性層或いはSQW構成にしてもよい。

【0063】次に、n型Ga_{0.93}Nコンタクト層53上にT_i/Auからなる側電極63を形成した。p型Ga_{0.93}Nコンタクト層62上にはp側電極64を形成した。続いて、このレーザ構造を基板側からスクライバなどを用いて壁開し、共振器ミラーを作成した。

【0064】このようにして作成した半導体レーザは波長420nmで連続発振した。この素子の動作電圧は4.2Vで、しきい値電流密度は1kA/cm²であった。また、作成したレーザ用ウェハ内での素子特性のばらつきは殆ど無く、素子寿命も従来素子の10000倍程度まで延び、信頼性が大幅に向上した。

【0065】なお、本発明は上述した各実施形態に限定されるものではない。半導体層成長のための基板はサファイアに限るものではなく、Ga_{0.93}N、SiC、Si₃N₄等を用いることができる。また、実施形態では、p_n構造におけるn層を活性層に対し基板側に設け、p層を反対側(上部)に設けた構造を例に示したが、基板側にp層を、成長層上部にn層を形成するような構造でも良い。

【0066】また、実施形態では、Ga_{0.93}N系半導体レーザの例を説明したが、本発明は半導体レーザに限らず発

光ダイオード(LED)にも適用できる。さらに、Ga N系材料に限らず、窒化物系半導体を用いた発光素子に適用することができる。その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。

【0067】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、SCH構造を有する窒化物系半導体発光素子において、n側の光閉じ込め層をコンタクト層であるGa N等の屈折率よりも大きな屈折率を有するInGa N等で形成することにより、しきい値電流低減とクラックの抑制とを同時に達成することができ、トータルの素子特性向上をはかり得る。その結果、素子の歩留まり、初期特性、信頼性が大幅に向上する。

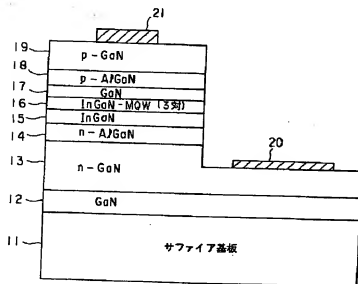
【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態に係わるSCH構造を有する窒化物系半導体レーザを示す素子構造断面図。

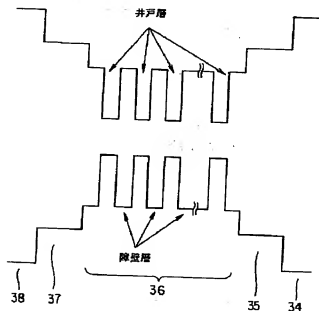
【図2】図1の素子構造におけるSCH構造のバンド図。

【図3】第1の実施形態において比較のために示した従来のSCH構造を有する窒化物系半導体レーザを示す素子構造断面図。

【図1】



【図4】



【図4】図5の従来型の窒化物系半導体レーザにおけるSCH構造のバンド図。

【図5】第2の実施形態に係わる半導体レーザを示す素子構造断面図。

【図6】第3の実施形態に係わる半導体レーザを示す素子構造断面図。

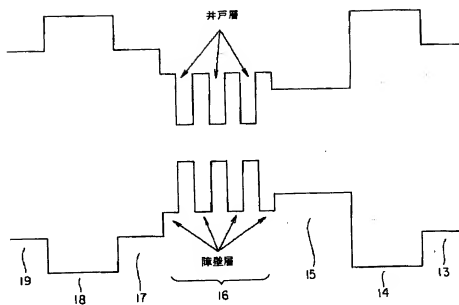
【図7】第4の実施形態に係わる半導体レーザを示す素子構造断面図。

【図8】図7の構造における活性層付近のバンド図。

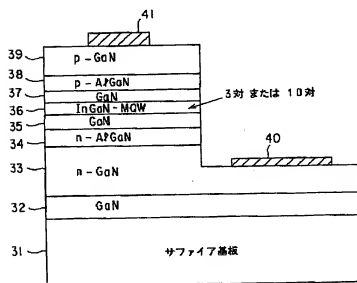
【符号の説明】

- 11…サファイア基板
- 12…アンドープGa N下地層
- 13…n型Ga Nコンタクト層
- 14…n型AlGa Nクラッド層
- 15…n側InGa N光閉じ込め層兼クラック防止層
- 16…MQWのInGa N系活性層
- 17…p側Ga N光閉じ込め層
- 18…p型AlGa Nクラッド層
- 19…p型Ga Nコンタクト層
- 20…n側電極
- 21…p側電極

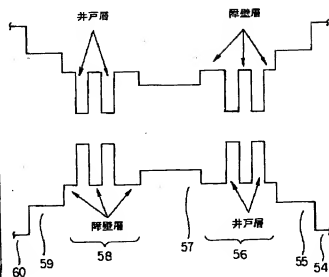
【図2】



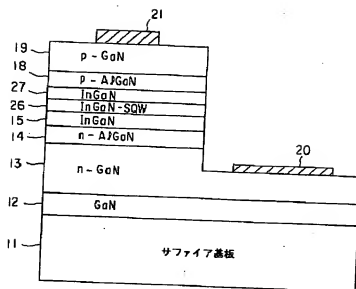
【図3】



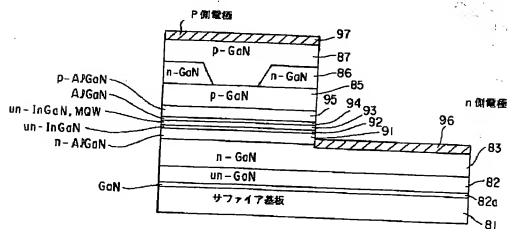
【図8】



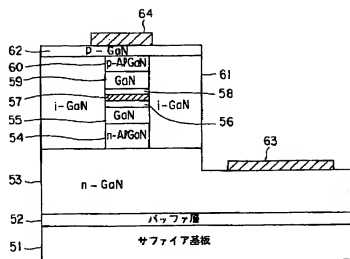
【図5】



【図6】



【図7】



THIS PAGE BLANK (USPTO)